

# Análisis de variables de caudal y precipitación de sectores en los departamentos de Boyacá y Casanare y su alteración por fenómenos macroclimáticos y de cambio global\*

Melquisedec Cortés Zambrano\*\*

## RESUMEN

La disminución de la disponibilidad hídrica dentro de los departamentos de Boyacá y Casanare, es un problema de gran actualidad. En este trabajo se presenta una metodología basada en pruebas estadísticas para la detección de tendencias en series de precipitación y caudal en la zona de estudio. Se describe el entendimiento logrado del comportamiento de las variables mencionadas y la relación con los fenómenos macroclimáticos presentes. Para esta investigación se utilizó información hidrológica, recopilada por el Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM. En el estudio se ilustran los diferentes resultados, que muestran las bondades de los modelos utilizados y que suministran información robusta; importante para el conocimiento del comportamiento climático de esta región de nuestro país.

*Palabras clave*— Boyacá, Casanare, Fenómenos, Hidrología, Macroclimáticos, Tendencias.

## ABSTRACT

The decreasing availability of water resources in Boyaca and Casanare has become a significant problem in this part of the country. This thesis aims to investigate rainfall and flow patterns in the region and their relationship with macroclimate phenomena. To perform the research, existing statistical methodologies and historical hydrologic data collected by IDEAM (Hydrology, Meteorology and Environmental Studies Institute) were used. The results indicate the existence of rainfall and flow patterns in the region and the effects macroclimate phenomena have had on such patterns. El Niño, for example, altered the rainfall series by increasing intensity in some areas but reducing it in others. The outcome of this research should contribute to increase our understanding of the climate behavior in this region of Colombia..

*Keywords*— Boyacá, Casanare, Phenomena, Hydrology, macroclimatic, Trends.

\* Artículo de investigación, como producto final del proyecto de investigación del mismo nombre en la línea de Hidráulica e Hidrología, del grupo de investigación ACI, perteneciente al programa de Ingeniería Civil, de la Universidad Santo Tomás, Seccional Tunja.

\*\* M. Sc. Ingeniería Civil, Docnete Universidad Santo Tomás, Seccional Tunja, Colombia.  
mcortes@ustatunja.edu.co

## I. INTRODUCCIÓN

**E**l agua es el principal recurso natural para el ser humano, el cual la utiliza de forma imprescindible tanto para su consumo directo, como para diversas actividades agrícolas e industriales.

Colombia es uno de los países con mayor número de recursos hídricos en el mundo y frente a la necesidad de identificar los factores que están influyendo en la disminución de disponibilidad hídrica, precipitación y en el aumento de la temperatura, en diferentes zonas del país debido a fenómenos macroclimáticos como El Niño (Montealegre, 1996); se han desarrollado diferentes estudios que pueden establecer y determinar la forma en que este fenómeno afecta el comportamiento de la hidrología y del clima en algunas regiones del país. (Villate, 2004 y Castañeda, 2005).

De acuerdo con el informe histórico del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés), de la ONU se declaró que la variedad de actividades humanas ha generado un aumento en los gases de efecto invernadero impulsando la mayor parte del calentamiento, ha hecho que la demanda de agua se haya duplicado durante los últimos 50 años según lo confirma la Organización de las Naciones Unidas-ONU en el estudio “Amplia valoración de los recursos de agua potable en el mundo”, debido principalmente al uso irracional de este recurso, a procesos de contaminación, desertificación, monocultivos, incendios forestales entre otras, condiciones que alertan sobre crisis cercanas respecto a la cantidad disponible a mediano plazo de este bien.

El rápido calentamiento del planeta es un hecho irrefutable (Appenzeller & Dimick, 2004), los verdaderos interrogantes son en qué medida ello es responsabilidad nuestra y si estamos dispuestos a frenar ese proceso moderando el apetito de los humanos por los combustibles fósiles. Como resultado de investigaciones anteriores (Villate, 2004), relacionadas con el tema desarrollado, se ha encontrado por ejemplo que el comportamiento del clima en el altiplano cundiboyacense no es uniforme y presenta

cambios importantes de temperatura y precipitación que afectan entre otros, la economía y el desarrollo de esa zona del país; generando impactos en la sociedad y llegando al punto de cambiar actividades tales como la producción agrícola.

Los índices macroclimáticos con mayor influencia sobre la precipitación y la temperatura según investigaciones anteriores son los relacionados con el NIÑO y el Índice de Oscilación del Sur (IOS). Ni la Oscilación del Atlántico Norte (NAO) ni la Oscilación Quasi Bienal (QBO) presentan coeficientes altos de correlación. Se ha encontrado que sí presentan una correlación con la temperatura aunque ésta es baja. En este estudio se buscó encontrar qué tan correlacionados están los índices de estos fenómenos con el caudal de los ríos, la precipitación de la zona de estudio y si de alguna manera los están afectando realizando análisis de tendencia en las series históricas usadas.

Debido a insuficiente información y al número de datos faltantes en las series, la información no fue completa, por lo cual un aspecto que se tuvo en cuenta en la investigación fue revisar y analizar la calidad de los datos suministrados por el IDEAM y generados en las estaciones con que cuenta la zona de estudio.



## 2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Los cambios globales se generan a partir de procesos naturales y por actividades del hombre que afectan el medio ambiente en forma directa o a través de la acumulación de alteraciones locales o regionales (Villate, 2004). Este cambio consiste en un aumento de la temperatura de la superficie terrestre. Las escalas espaciotemporales de los procesos que conllevan al cambio global son variadas: algunos, como la deforestación, son a escala regional y pueden ser medidos en días; otros, como el calentamiento global y el cambio climático, cubren todo el planeta y se manifiestan en etapas que van desde el decenio hasta milenios.

Los procesos de reducción de disponibilidad de las aguas superficiales en los últimos años en el país, ha incrementado la explotación de las aguas subterráneas para diferentes usos (Cortés, 2005). Este aprovechamiento que la mayor parte de las veces se hace sin ninguna evaluación y control, ha generado en algunas áreas una serie de impactos ambientales negativos sobre el recurso (Cortés, 2005).

Los fenómenos macroclimáticos existentes son: El Niño, la Oscilación del Atlántico Norte, la Oscilación Cuasi Bienal y la Oscilación del Sur. Para la investigación, el más representativo es el Fenómeno del Niño también llamado fenómeno del Pacífico, el cual está representado principalmente por un aumento en la temperatura de las aguas superficiales del océano Pacífico presentando una duración promedio de un año (Villate, 2004). Este fenómeno produce un aumento considerable en la temperatura del aire, aumento de la precipitación en algunas regiones y disminución en otras, generando bajas en la oferta de disponibilidad hídrica.

De acuerdo con estudios anteriormente realizados en Colombia, los índices de los fenómenos macroclimáticos que más influyen en la precipitación y otras variables hidroclimatológicas son los relacionados con el Fenómeno del Niño (Montealegre, 1996), OS y ENSO. La NAO y la OQB presentan correlaciones bajas. Debido a lo anterior los fenómenos que fueron analizados en esta

investigación fueron El NIÑO, La Oscilación del sur (OS), y la relación ENSO.

## 3. FENÓMENOS MACROCLIMÁTICOS:

### 3.1 *El Niño*

El fenómeno macroclimático Niño es un fenómeno oceánico y atmosférico localizado en el océano Pacífico durante el cual aparecen, de forma inusual, condiciones cálidas a lo largo de la costa occidental de Ecuador, Perú, y Colombia, lo que provoca alteraciones climáticas de distinta magnitud. Se produce cuando los vientos constantes procedentes del Oeste se debilitan e incluso cambian de dirección.

Este cambio permite desplazarse hacia el Este, a lo largo de la línea del ecuador, a una gran masa cálida de agua, generalmente localizada cerca de Australia, hasta que alcanza la costa de Sudamérica. El desplazamiento de tan enormes masas de aguas cálidas afecta a la evaporación, causando la formación de nubes que precipitan, y, consecuentemente, altera los patrones atmosféricos habituales.

### 3.2 *Oscilación del Sur*

Es un fenómeno causado por una onda estacionaria en la masa atmosférica que consiste en un gradiente de presiones entre el oeste y el este del océano Pacífico ecuatorial. La medida del comportamiento de este fenómeno se realiza a través del Índice de Oscilación del Sur (IOS), el cual consiste en tomar la diferencia estandarizada de la presión atmosférica a nivel del mar entre la ciudad Australiana de Darwin (localizada en el Pacífico Occidental) y la isla de Tahití (Pacífico central).

### 3.3 *ENSO*

Consiste en un fenómeno natural producido por la interacción de una componente oceánica y otra atmosférica en la región del Océano Pacífico Ecuatorial. La componente oceánica es El Niño, que como ya se mencionó se trata de un calentamiento de la temperatura superficial del océano Pacífico,

mientras que la componente atmosférica es la diferencia entre las presiones a nivel del mar conocida como la Oscilación del Sur (Villate, 2004).

El ENSO se origina en el Océano Pacífico tropical cerca de Australia debido a un aumento en la temperatura de las aguas superficiales. Con el correr del tiempo este máximo de temperaturas se desplaza hacia el este hasta alcanzar la costa de Sur América, causando un enfriamiento relativo en las aguas del Pacífico occidental (cerca de Asia).

## 4. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO.

### 4.1 Departamento de Casanare

El Casanare limita por el norte con el departamento de Arauca; por el oriente con el departamento de Vichada; por el sur con el departamento del Meta; por el occidente con el departamento de Boyacá. La mayor parte del territorio es plano y corresponde a la región de los llanos Orientales, con altitud variable entre los 110 m. y 230 m. Al occidente se localiza un sector montañoso que va desde el piedemonte llanero hasta más de 3000 metros sobre el nivel del mar, en la cordillera Oriental. Entre los accidentes orográficos se destacan la Cordillera del Zorro y los Cerros Aguamoco y Peña Negra. Dentro de su hidrografía se destacan los ríos Pauto, Guanapalo, Ariporo, Casanare, Cravo Sur, Cusiana, Túa, Tocaría, Guachiría, Upía y Unete. El Casanare se destaca como área estratégica para la conservación de ecosistemas de piedemonte.

### 4.2 Departamento de Boyacá

El departamento de Boyacá limita por el norte con los departamentos de Santander y Norte de Santander; al oriente con los

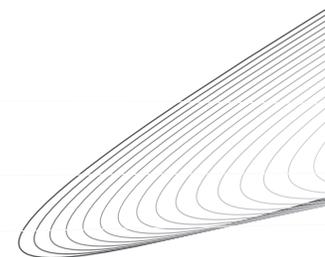
departamentos de Arauca y Santander; por el sur con el departamento de Cundinamarca, y por el occidente con el departamento de Antioquia. La cordillera Oriental lo atraviesa de sur a norte; presenta terrenos quebrados, páramos, valles y altiplanos. Dentro de su hidrografía se destacan los ríos Magdalena, Guaguaquí, Suárez, Chicamocha y Garagoa, la Laguna de Tota, Cusiana, Upía y Cravo Sur.

### 4.3 Boyacá y Casanare

El río Cusiana es uno de los más representativos de la zona de estudio. Nace en territorio boyacense, posee una longitud aproximada de 365 kilómetros y es navegable en los últimos 115 kilómetros. La cuenca tiene un gran potencial agrícola y ganadero, aunque es más conocida internacionalmente por la explotación petrolera. Atraviesa los municipios de Aquitania, Labranzagrande y Pajarito en Boyacá, y Recetor, Aguazul, Tauramena y Maní en Casanare. Los afluentes principales son los ríos Charte, Unete, Salinero y Chitamena.

La información usada es recopilada por el IDEAM por medio de estaciones hidrometeorológicas ubicadas a lo largo de los departamentos y se utilizó con el fin de analizar el comportamiento climático actual de la zona.

La investigación se basa en el estudio y análisis de series históricas mensuales de caudales y precipitación utilizando datos discriminados generados por las diferentes estaciones Limnimétricas, Limnigráficas, Pluviométricas y Pluviográficas, existentes en la zona de estudio teniendo en cuenta para Boyacá únicamente las que drenan en dirección al Casanare (Figura 1), tratando de generar series completas y así determinar el cambio climático y los efectos de los Fenómenos Macroclimáticos en la región en los últimos años.



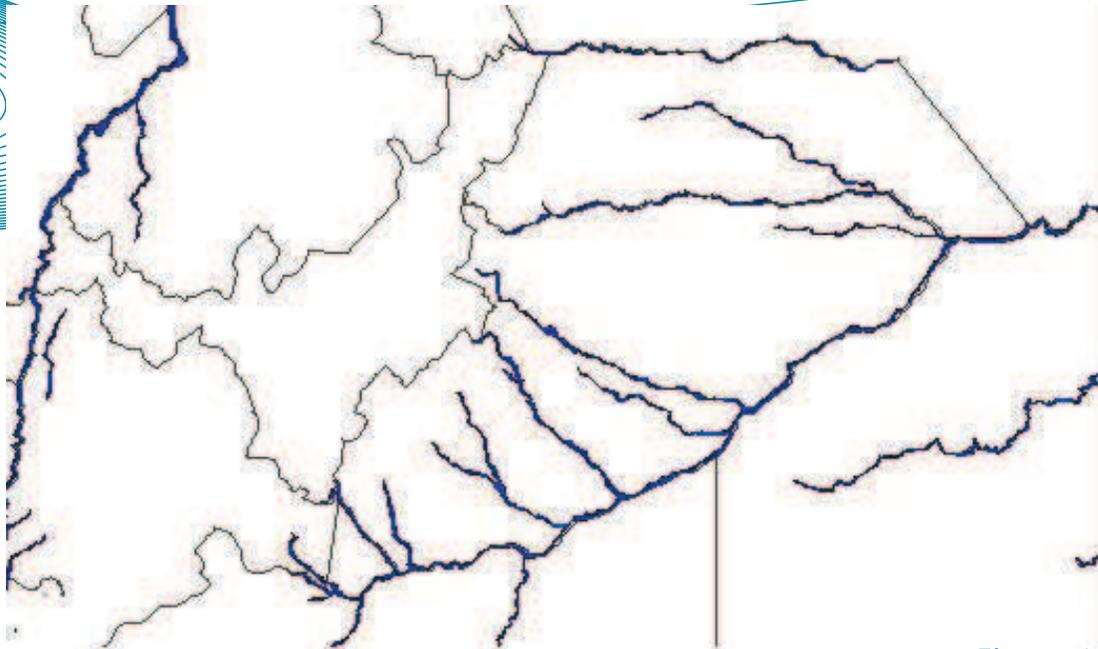


Figura 1.  
HIDROGRAFÍA ZONA DE ESTUDIO.

## 5. DESCRIPCIÓN DE LAS HERRAMIENTAS USADAS

### 5.1 Finalidad

Aplicando los modelos que fueron utilizados en investigaciones anteriores (Villate, 2004 y Castañeda, 2005), se pretende analizar el clima de los departamentos de Boyacá y Casanare, determinando la afectación que sufren debido a fenómenos macroclimáticos y de cambio global; evaluando la posibilidad de generar tendencias temporales y espaciales de la zona en estudio a partir de la información suministrada por el IDEAM y así evitar impactos negativos cuando estos fenómenos se presenten.

Con la investigación desarrollada se buscó:

- Analizar los resultados encontrados en esta investigación a partir de las series históricas mensuales

e identificar los cambios en la hidrología de la zona.

- Realizar análisis estadísticos y espaciales para cuantificar el efecto de los cambios climáticos en los departamentos de estudio.
- Interpretar el comportamiento de los fenómenos macroclimáticos en los últimos años y la incidencia que éste tiene en el clima de los departamentos en estudio.
- Comparar el comportamiento del clima bajo condiciones normales y con períodos de fenómenos macroclimáticos.
- Realizar el análisis de los resultados obtenidos para determinar la incidencia los fenómenos climatológicos recientes en la disminución de los recursos hídricos.

## 5.2 Análisis de las series de tiempo

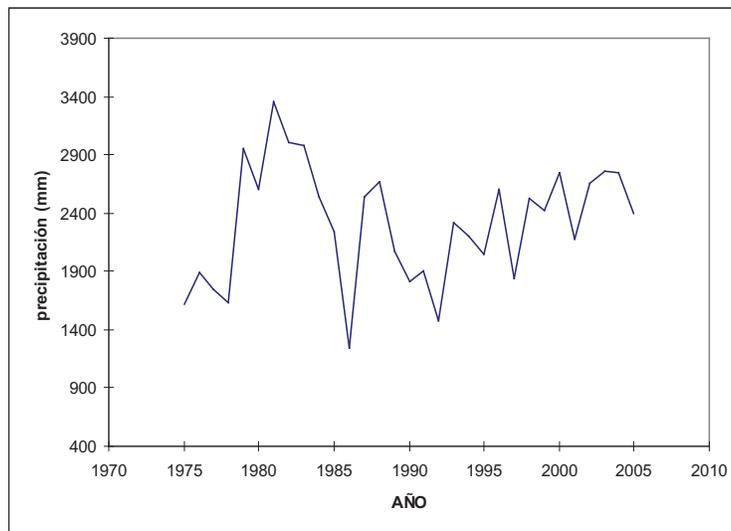
### 5.2.1 Análisis de homogeneidad

Previo a los análisis de tendencia se llevaron a cabo análisis de homogeneidad de las series hidrológicas usadas en esta investigación, con el objetivo de determinar la calidad de la información hidrológica que se utilizó. Para este proceso se usó una gran cantidad de herramientas gráficas y estadísticas que pueden usarse para soportar este tipo de análisis (Smith & Campuzano, 2000).

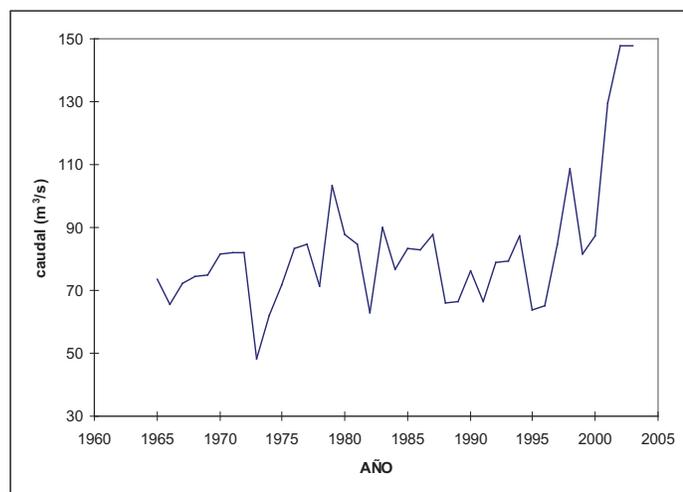
Los gráficos siguientes se desarrollaron para varias series hidrológicas que se sospechaban tenían cambios o tendencias en la media y/o la varianza. A manera de

ejemplo se presentan los gráficos obtenidos para las precipitaciones totales anuales de la estación Apto Yopal, los cuales tienen una tendencia creciente en la media. Las figuras 2 a la 4 muestran los gráficos obtenidos para esta serie que representan el análisis exploratorio discutido anteriormente. Con esto fue posible tener una clara comprensión del comportamiento de la serie antes de los análisis confirmatorios.

Con el desarrollo de este análisis se encontró que algunas de las series de tiempo de precipitación y caudal muestran en general una tendencia al aumento (Figura 2 y 3) en estaciones como Reventonera, Apto Yopal, Ceibal, Reventonera, Guaicaramo, Puente las Canas y Puente Yopal.



**Figura 2.**  
**SERIE DE PRECIPITACIONES**  
**TOTALES ANUALES**  
**ESTACIÓN APTO YOPAL**  
**3521501.**



**Figura 3.**  
**SERIE DE CAUDAL MEDIO**  
**ANUAL ESTACIÓN PUENTE**  
**YOPAL 3521701.**

Este tipo de tendencia fue una característica que se reflejó en las gráficas de Masa Simple de las estaciones mencionadas anteriormente, ya que la forma de ésta no es una línea recta y la pendiente de la gráfica crece levemente con el tiempo indicando que las precipitaciones anuales en esa zona tienen una tendencia creciente (Figura 4 y 5).

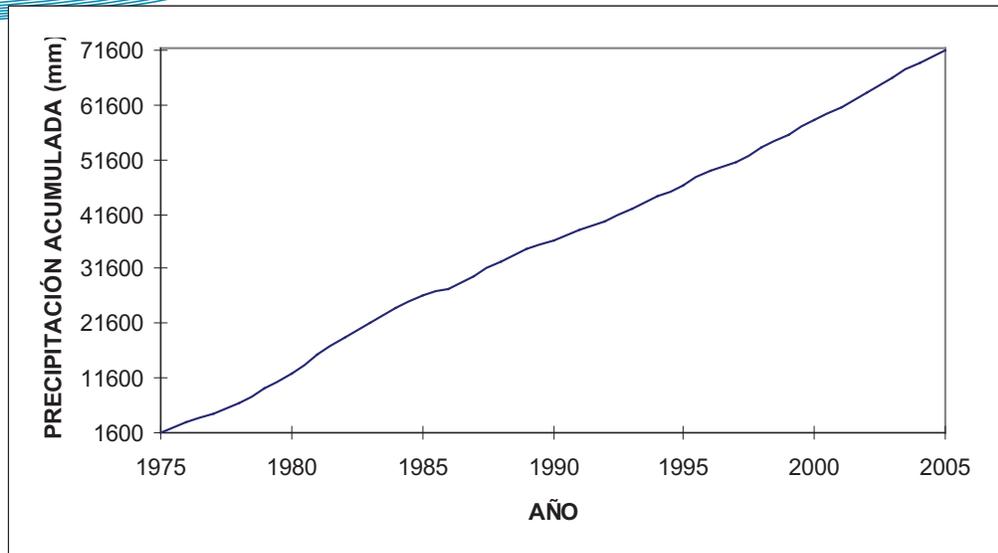


Figura 4.

GRÁFICO DE MASA SIMPLE ESTACIÓN APTO YOPAL 3521501.

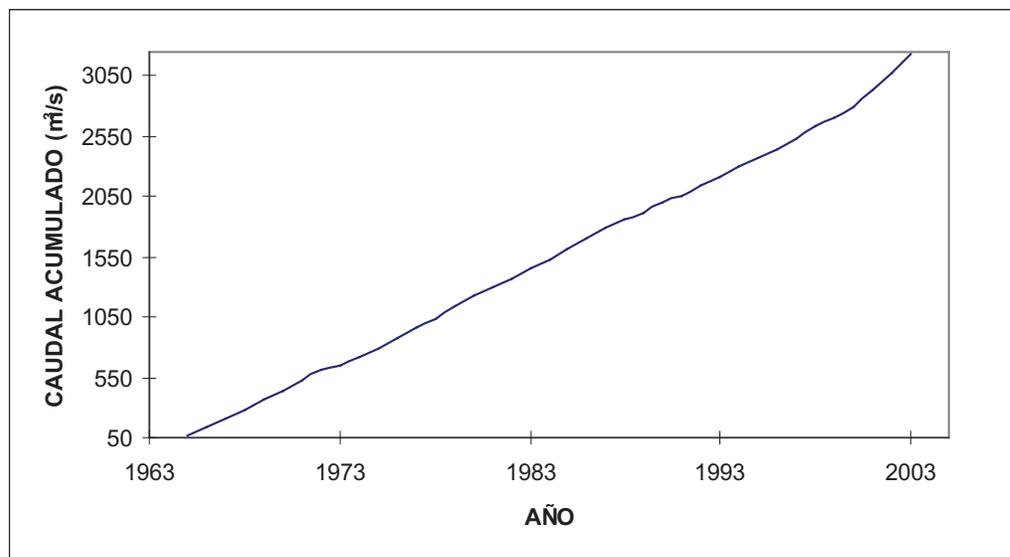
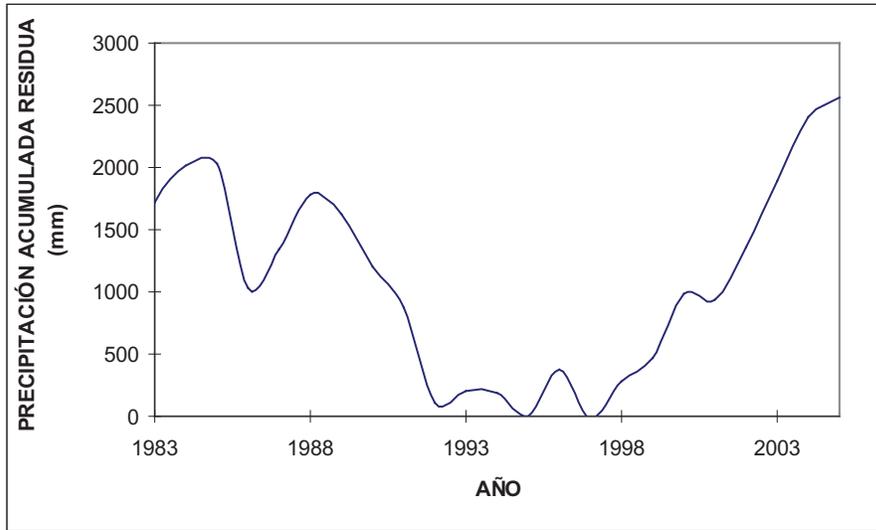


Figura 5.

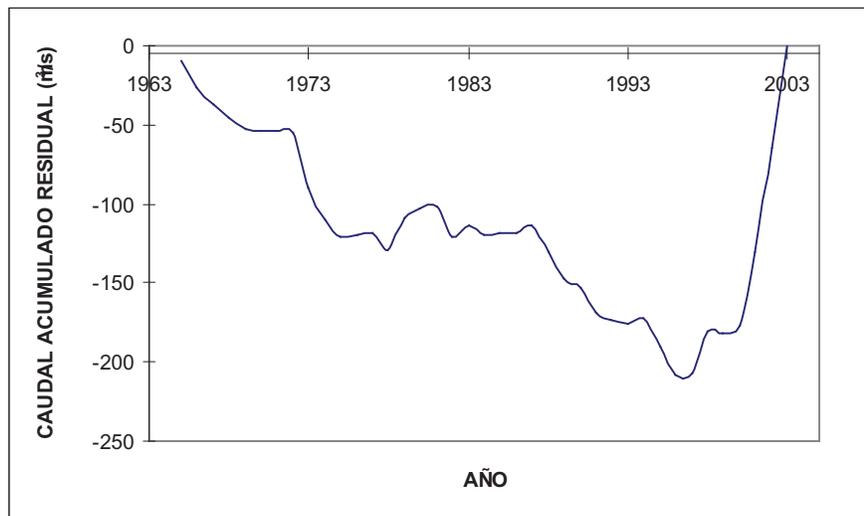
GRÁFICO DE MASA SIMPLE ESTACIÓN PUENTE YOPAL 3521701.

Las gráficas de Masa Residual muestran tres partes diferentes, primero un rápido decrecimiento indicando que en la primera parte las precipitaciones y caudales están generalmente por debajo del valor medio de la serie (Figura 6 y 7), una segunda parte en la cual la gráfica de Masa Residual fluctúa

alrededor de un valor constante (Figura 6) y una tercera parte con valores que se incrementan indicando que en esta porción las precipitaciones están generalmente por encima de la media (Figura 6 y 7). La forma de esta gráfica es típica de series con una tendencia creciente en la media.



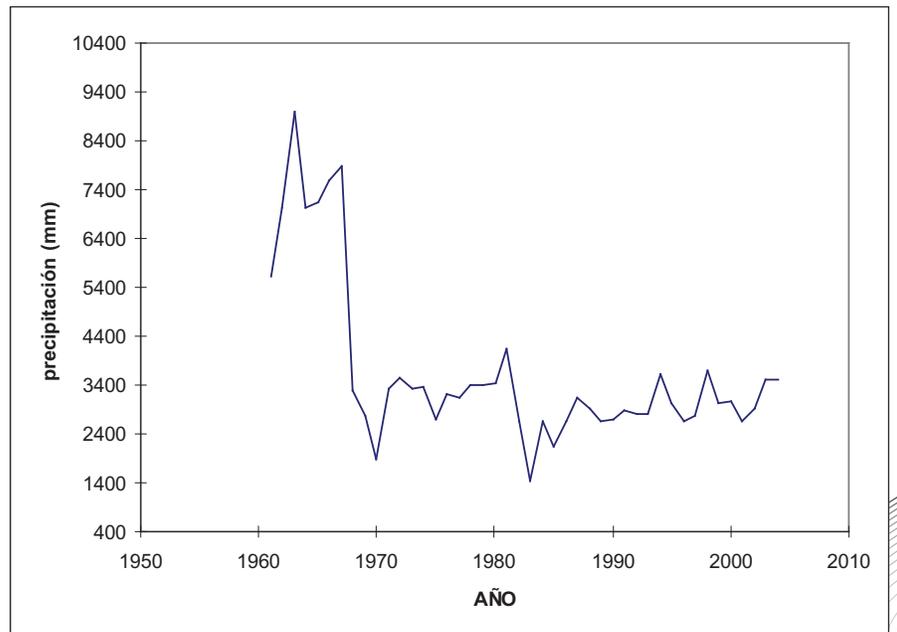
**Figura 6.**  
GRÁFICO DE MASA RESIDUAL DE LA ESTACIÓN APTO YOPAL 3521501.

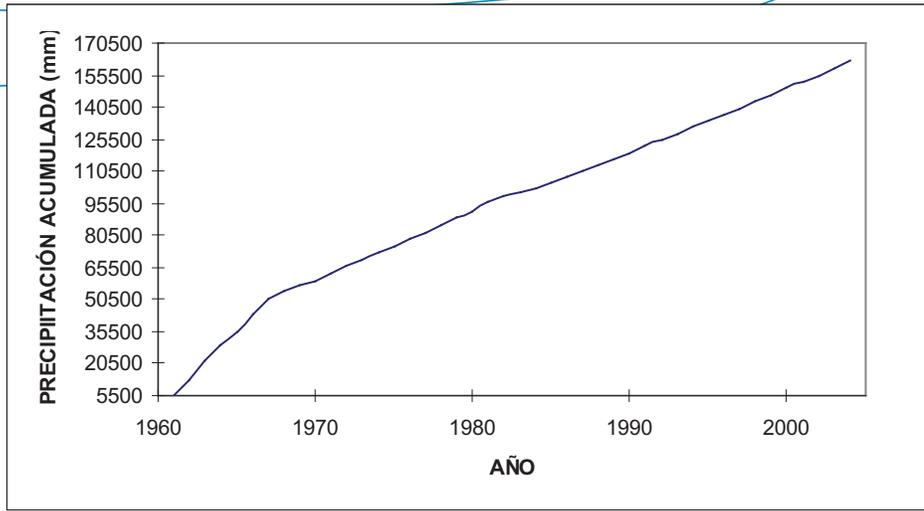
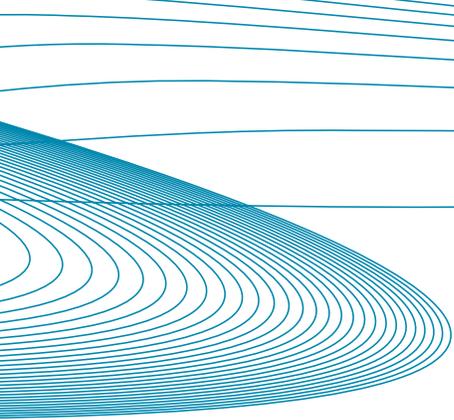


**Figura 7.**  
GRÁFICO DE MASA RESIDUAL ESTACIÓN PUENTE YOPAL 3521701.

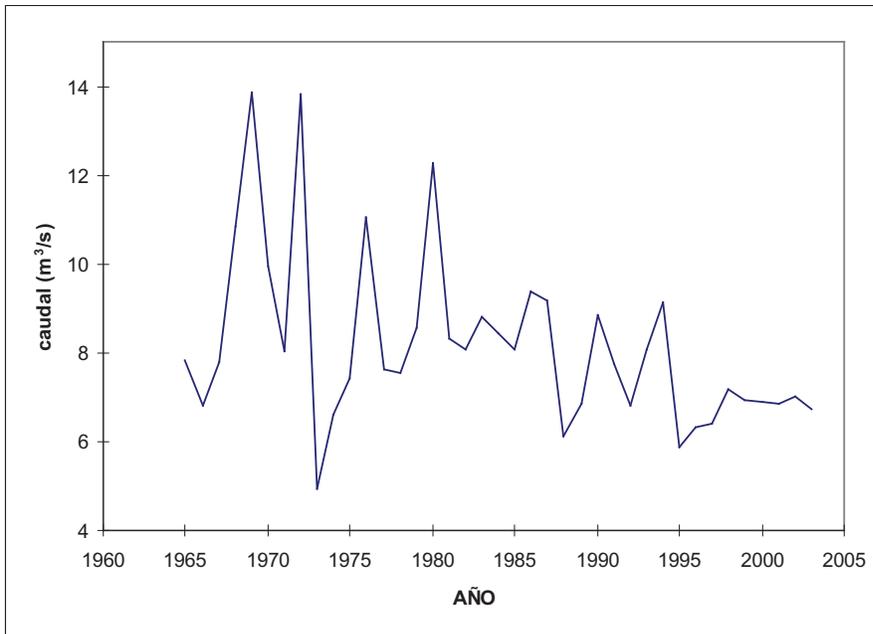
El comportamiento que mostraron las gráficas de las series de tiempo de precipitación y caudal en estaciones como Tauramena, Yopal y Vado Hondo, reflejó una tendencia decreciente en las gráficas de la serie de tiempo y Masa Simple (Figura 8 y 9) (Figura 10 y 11).

**Figura 8.**  
SERIE DE PRECIPITACIONES TOTALES ANUALES ESTACIÓN TAURAMENA 3519502.

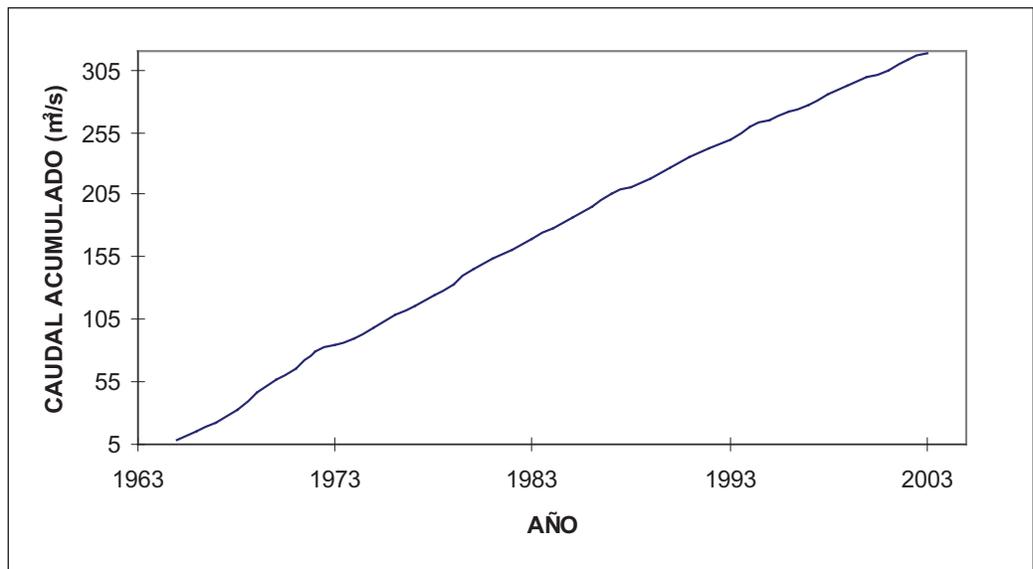




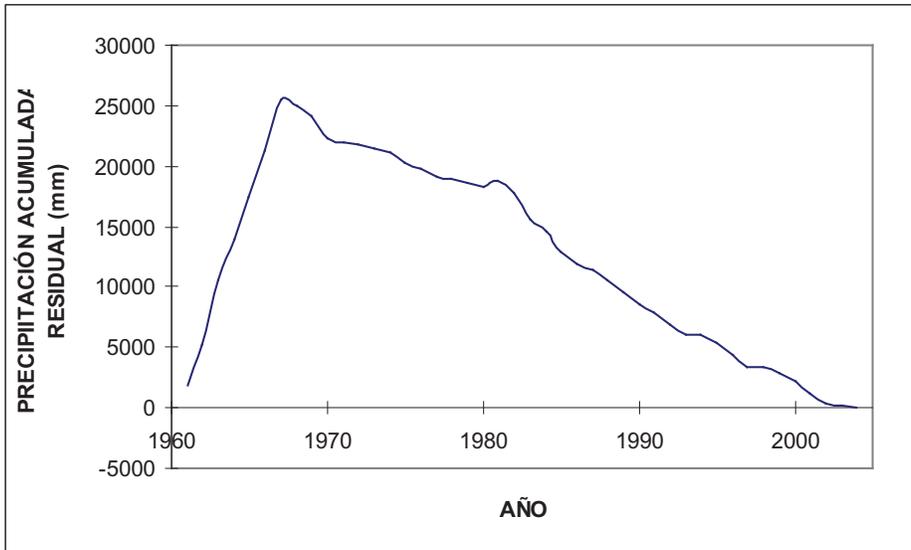
**Figura 9.**  
GRÁFICO DE MASA  
SIMPLE ESTACIÓN  
TAURAMENA 3519502.



**Figura 10.**  
SERIE DE CAUDAL  
MEDIO ANUAL  
ESTACIÓN VADO  
HONDO 3519702.



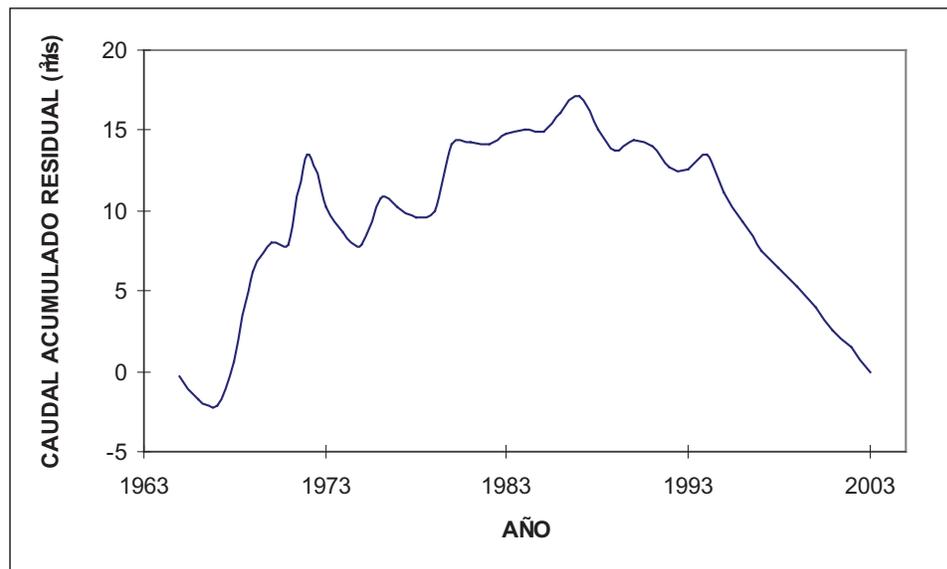
**Figura 11.**  
GRÁFICO DE  
MASA SIMPLE  
ESTACIÓN  
VADO HONDO  
3519702.



**Figura 12.** GRÁFICO DE MASA RESIDUAL ESTACIÓN TAURAMENA 3519502.

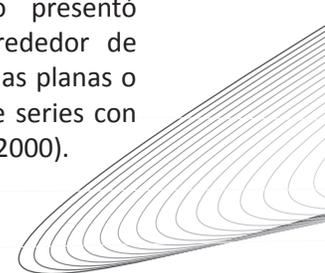
La gráfica de Masa Residual mostró tres partes distintas, un rápido aumento indicando que en la primera parte los caudales y las precipitaciones están generalmente por encima de la media de la serie (Figura 12 y 13), una segunda parte en la cual la gráfica fluctúa alrededor de un valor constante (Figura 13) y finalmente valores que descienden indicando que esta parte las precipitaciones están generalmente por debajo

de la media (Figura 12 y 13). La forma de esta gráfica es típica de series con una tendencia decreciente en el valor medio de la serie.



**Figura 13.** GRÁFICO DE MASA RESIDUAL ESTACIÓN VADO HONDO 3519702.

Los histograma realizados (Figura 14 y 15) con la ayuda de la herramienta SPSS 13.0 para Windows no presentó comportamientos simétricos alrededor de un pico mostrando mas bien zonas planas o de no concentraciones típicas de series con tendencia (Smith & Campuzano, 2000).



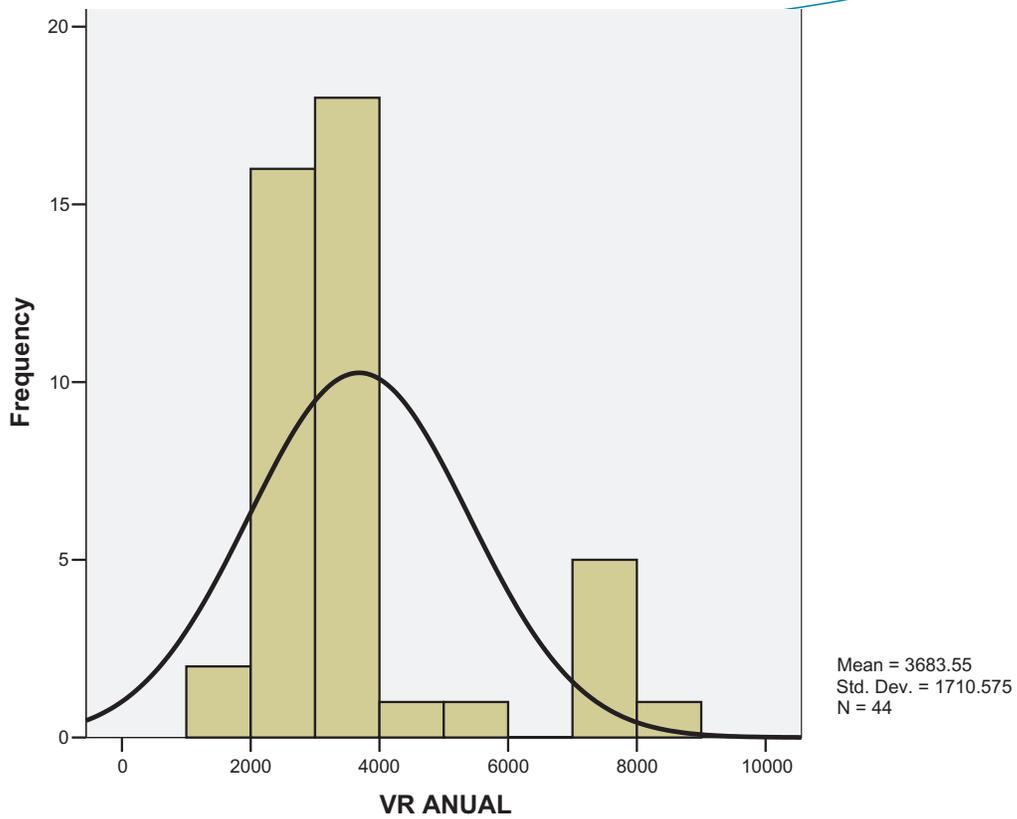


Figura 14. HISTOGRAMA  
ESTACIÓN TAURAMENA 3519502.

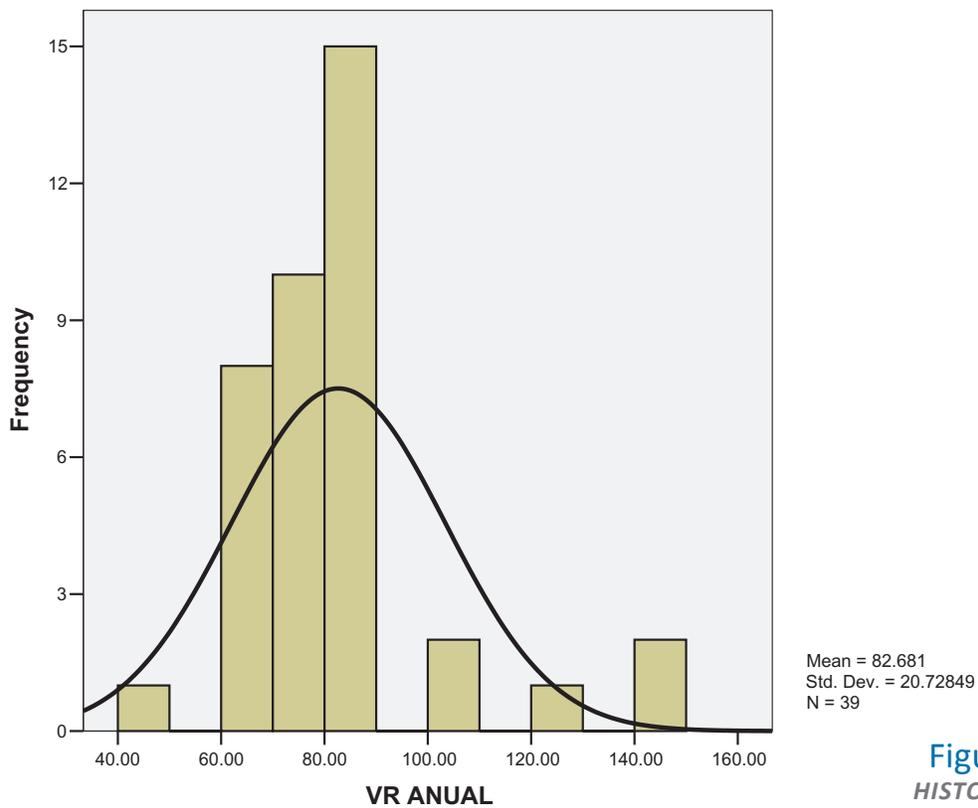


Figura 15.  
HISTOGRAMA  
ESTACIÓN PUENTE  
YOPAL 3521701.

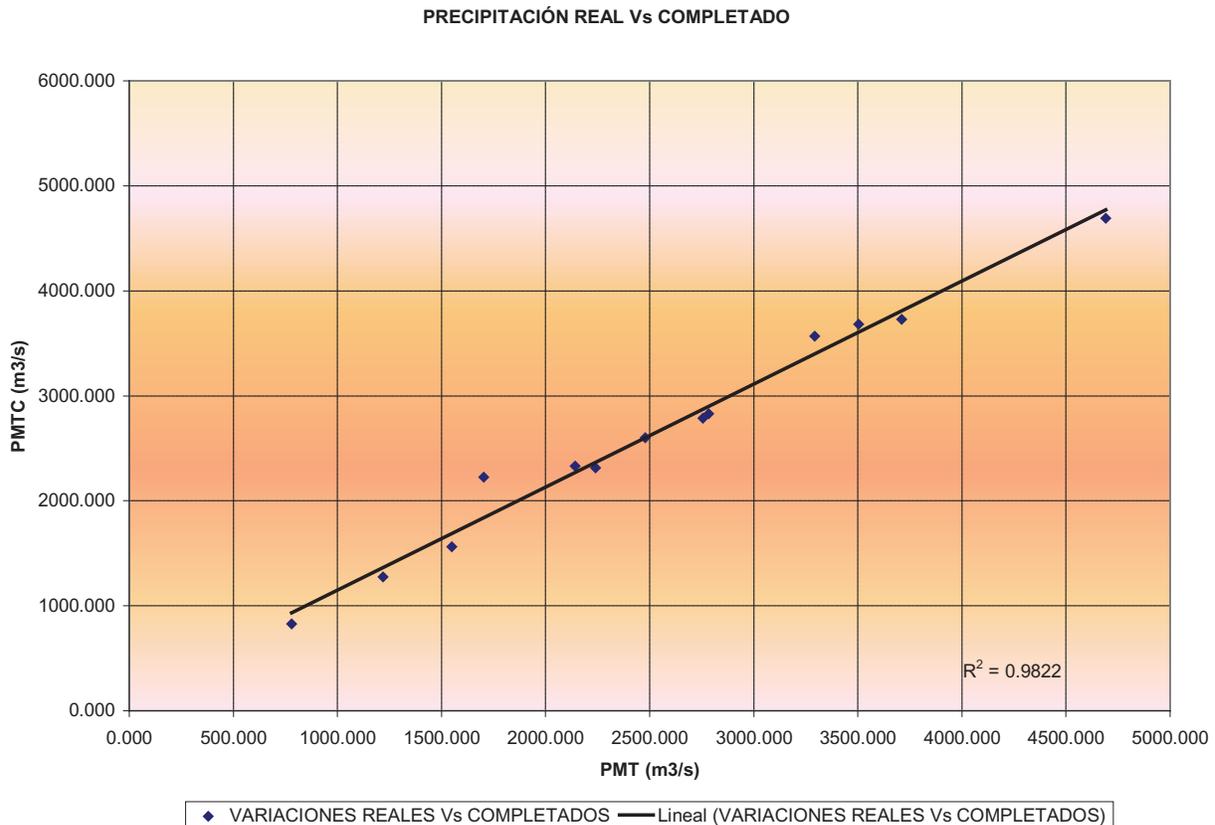
### 5.2.2 *Análisis de datos faltantes.*

La información de las estaciones del IDEAM provenía de estaciones pluviométricas, pluviográficas, climatológicas, limnimétricas y limnigráficas, fue estudiada y ordenada cuidadosamente, verificando que los datos cumplieran con los parámetros establecidos como longitud de la serie, ubicación y que la estación estuviera actualmente en funcionamiento. Lo principal en esta etapa fue tratar de completar la información y así tener todas las series con períodos de información lo más robusta posible.

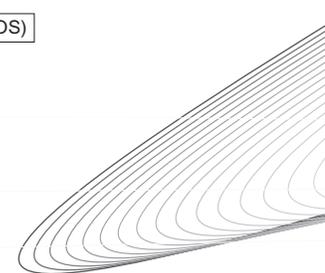
Uno de los métodos utilizados para completado de datos de las series mensuales, se realizó de acuerdo al procedimiento que sigue el programa Chac (Borrell, 2003) para el completado de información, agrupando las

estaciones, teniendo en cuenta su ubicación espacial, su altura sobre el nivel del mar y en la medida que fuera posible en función de su comportamiento climático.

Adicionalmente al proceso de completado de datos de las series mensuales de precipitación se verificó que la información completada por el programa Chac fuera consistente con la información real. Este procedimiento se llevó a cabo eliminando datos reales existentes en la serie y analizando la forma en que eran completados por el software dando como resultado Umbrales de Priorización del orden de 0.85. Con estos resultados se realizaron gráficas de datos simulados contra datos reales y se encontraron coeficientes de correlación del orden de 0.982, resultados que indican un comportamiento satisfactorio del software empleado.



**Figura 16. COMPARACIÓN DATOS REALES Y DATOS COMPLETADOS.**



La figura 17 muestra la ubicación de las estaciones que fueron utilizadas para el análisis de la precipitación y caudal en la zona de estudio. Se observa que desafortunadamente la zona sur-oriente del departamento de Casanare cuenta con poca información.

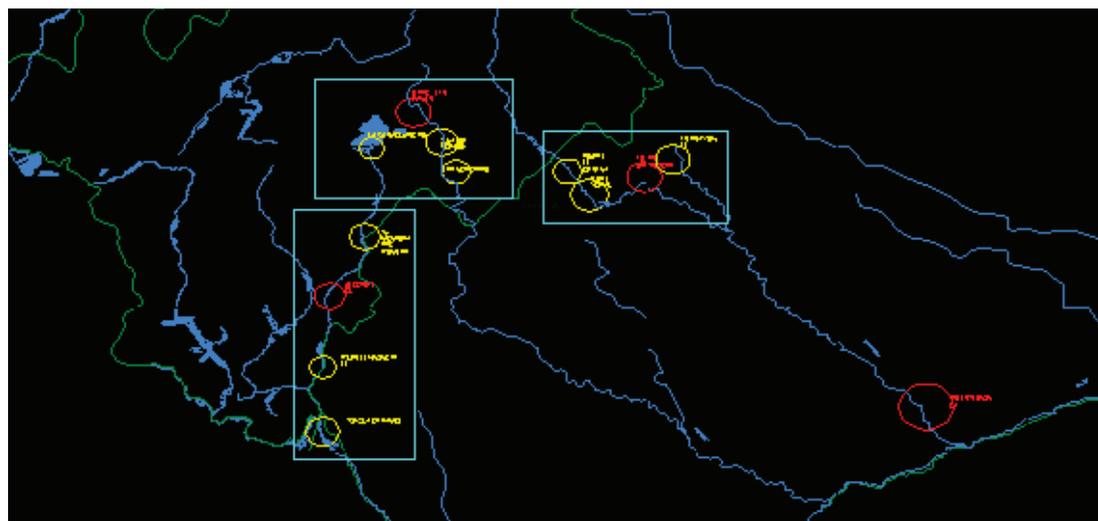
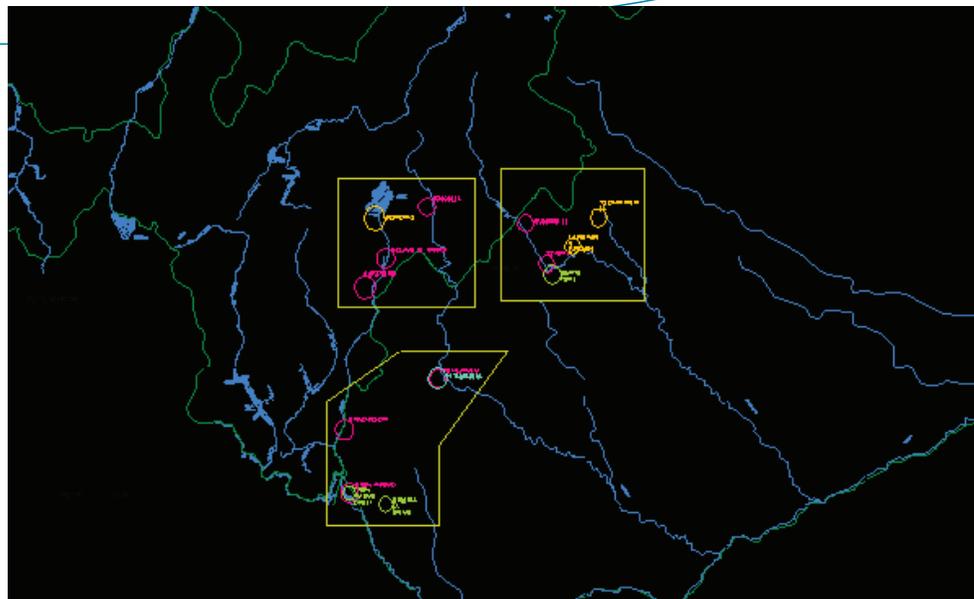


Figura 17. UBICACIÓN DE LAS ESTACIONES USADAS EN LA INVESTIGACIÓN.

Una vez realizados los análisis exploratorios se procedió a analizar estadísticamente las series de tiempo con el fin de determinar tendencias en las series históricas, estimando autocorrelaciones, correlaciones cruzadas con los índices de los fenómenos macroclimáticos para determinar el comportamiento de las variables climáticas dentro de la zona de estudio.

### 5.2.3 *Análisis de tendencias*

Para el desarrollo de esta parte de la investigación se utilizó la plantilla MAKESENS 1.0 (Mann-Kendall Test and Sen's Slope

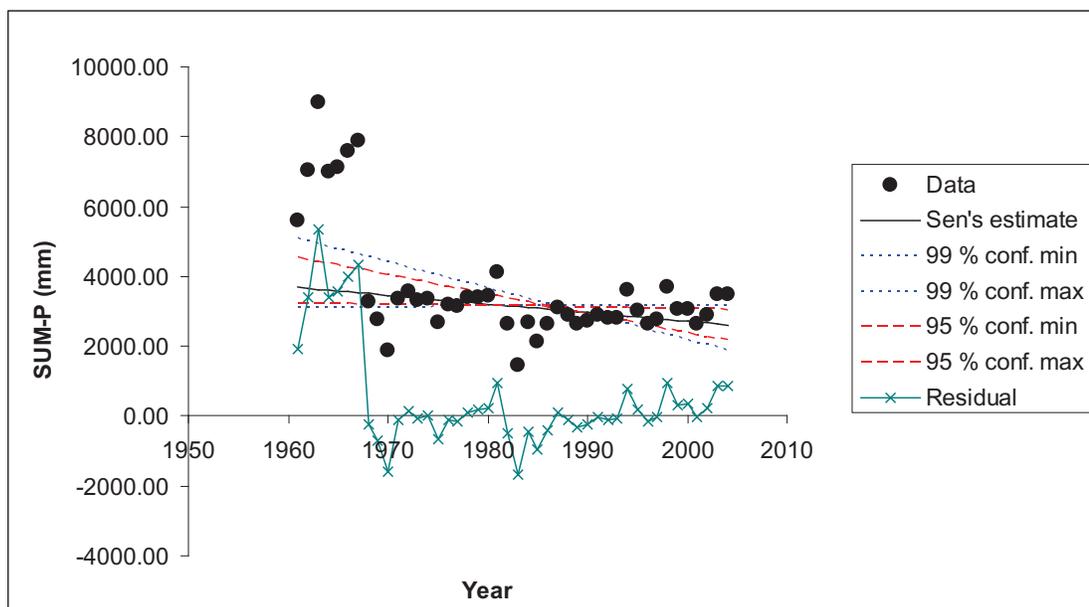
Estimates for the Trend of Annual Data) una hoja electrónica desarrollada por el Finish Meteorological Institute y programada en Excel para la detección y estimación de las tendencia en series de tiempo de valores anuales. Se realizó la prueba parcial Mann-Kendall por medio del programa desarrollado por Anders Grimvall, mejorado por Claudia Libiseller Universidad de Linköping, en colaboración con la universidad sueca de ciencias agrícolas; versión mejorada Septiembre 2003. Esta prueba determina qué tan significativa o no puede ser una tendencia por medio de un estadístico.

Al realizar el análisis de los resultados se observa a nivel general una tendencia a la disminución de la precipitación en el sector de Tauramena (Figura 18), y una tendencia

al aumento en el sector de Yopal (Figura 19). Claro está que esta tendencia positiva no es muy marcada de acuerdo a los resultados consignados en las tablas 1 y 2.

**Tabla 1.**  
**RESULTADOS MANN-KENDALL Y MAKENSENS ESTACIÓN TAURAMENA.**

<b>TREND STATISTICS</b>									
<b>PRECIPITACIÓN MENSUAL</b>									
<b>PMT 3519502 Tauramena</b>									
Time series	First year	Last Year	n	MAKESENS			Mann-Kendall		
				Test Z	Signific.	Q	MK-Stat	p-value	Signific.
ENE-P (mm)	1961	2004	44	0.43		0.000	0.43878314	0.660818678	
FEB-P (mm)	1961	2004	44	0.73		0.138	0.740097195	0.45924102	
MAR-P (mm)	1961	2004	44	0.04		0.036	0.050573899	0.959665062	
ABR-P (mm)	1961	2004	44	-1.66	+	-2.584	-1.668938674	0.095129534	
MAY-P (mm)	1961	2004	44	-2.14	*	-4.652	-2.154448107	0.031205047	
JUN-P (mm)	1961	2004	44	-2.81	**	-9.719	-2.822023576	0.004772167	T
JUL-P (mm)	1961	2004	44	-1.93	+	-6.394	-1.942137081	0.052120508	
AGO-P (mm)	1961	2004	44	-1.80	+	-3.844	-1.810545592	0.070211221	
SEP-P (mm)	1961	2004	44	-1.48		-1.989	-1.48702478	0.137008266	
OCT-P (mm)	1961	2004	44	-1.93	+	-3.777	-1.942137081	0.052120508	
NOV-P (mm)	1961	2004	44	-1.71	+	-2.274	-1.719600541	0.085505078	
DIC-P (mm)	1961	2004	44	-1.32		-1.105	-1.325171743	0.185114195	
SUM-P (mm)	1961	2004	44	-2.44	*	-24.849	-2.743253995	0.006083361	T



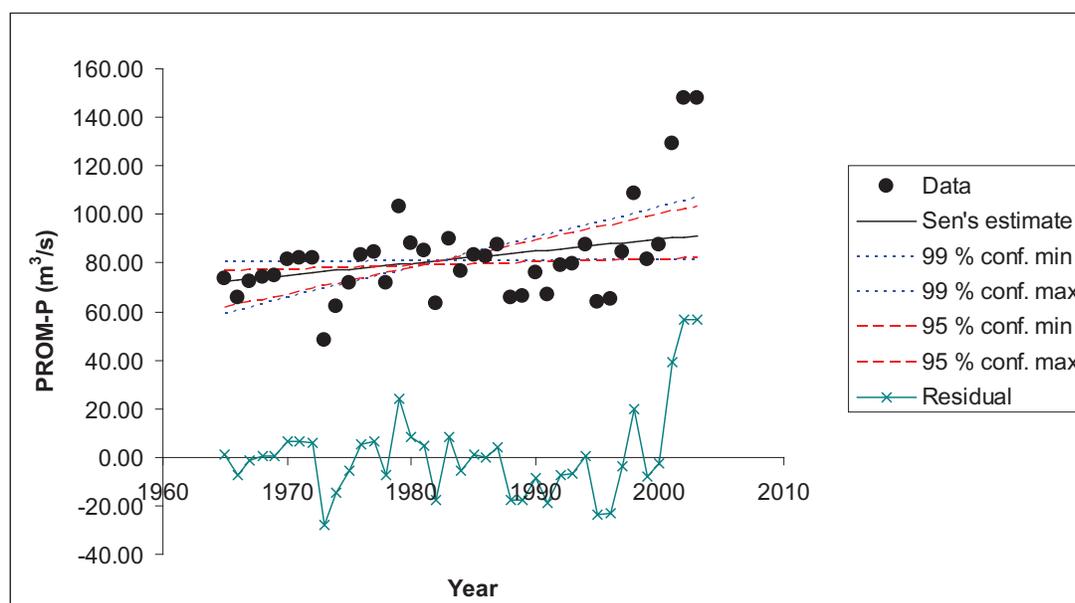
**Figura 18.** TENDENCIA ESTIMADA PARA LA ESTACIÓN 3519502 TAURAMENA.

En la figura 18 se observa que los residuos parecen ser una distribución aleatoria que indica que el modelo lineal puede aplicarse. De acuerdo con los resultados de las series de caudal se observa una tendencia positiva

en el sector de Yopal, Páez, Sabana Larga y una tendencia a la disminución en el sector de Aquitania. Es de resaltar que la tendencia negativa no es muy significativa en la zona de estudio.

**Tabla 2.**  
RESULTADOS MANN-KENDALL Y MAKESENS ESTACIÓN TAURAMENA.

TREND STATISTICS									
CAUDAL MENSUAL									
AMQ 3521701 Puente yopal									
Time series	First year	Last Year	n	MAKESENS			Mann-Kendall		
				Test Z	Signific.	Q	MK-Stat	p-value	Signific.
ENE-P (mm)	1965	2003	39	1.10		0.250	1.113156653	0.265641156	
FEB-P (mm)	1965	2003	39	1.11		0.255	1.125173823	0.260515383	
MAR-P (mm)	1965	2003	39	1.68	+	0.397	1.693686102	0.090324947	
ABR-P (mm)	1965	2003	39	0.41		0.295	0.423452514	0.671965137	
MAY-P (mm)	1965	2003	39	2.15	*	1.019	2.165657143	0.030337396	
JUN-P (mm)	1965	2003	39	2.08	*	1.400	2.093065283	0.036343327	
JUL-P (mm)	1965	2003	39	2.29	*	1.224	2.298573996	0.021529142	T
AGO-P (mm)	1965	2003	39	1.77	+	0.954	1.778500559	0.07532168	
SEP-P (mm)	1965	2003	39	3.06	**	1.241	3.072830499	0.002120389	T
OCT-P (mm)	1965	2003	39	2.90	**	0.969	2.916199921	0.003543234	T
NOV-P (mm)	1965	2003	39	0.83		0.282	0.846843051	0.397082609	
DIC-P (mm)	1965	2003	39	0.34		0.159	0.350860654	0.72569289	
PROM-P (mm)	1965	2003	39	2.71	**	0.493	2.772816096	0.005557352	T



**Figura 19.** TENDENCIA ESTIMADA PARA LA ESTACIÓN PUENTE YOPAL.

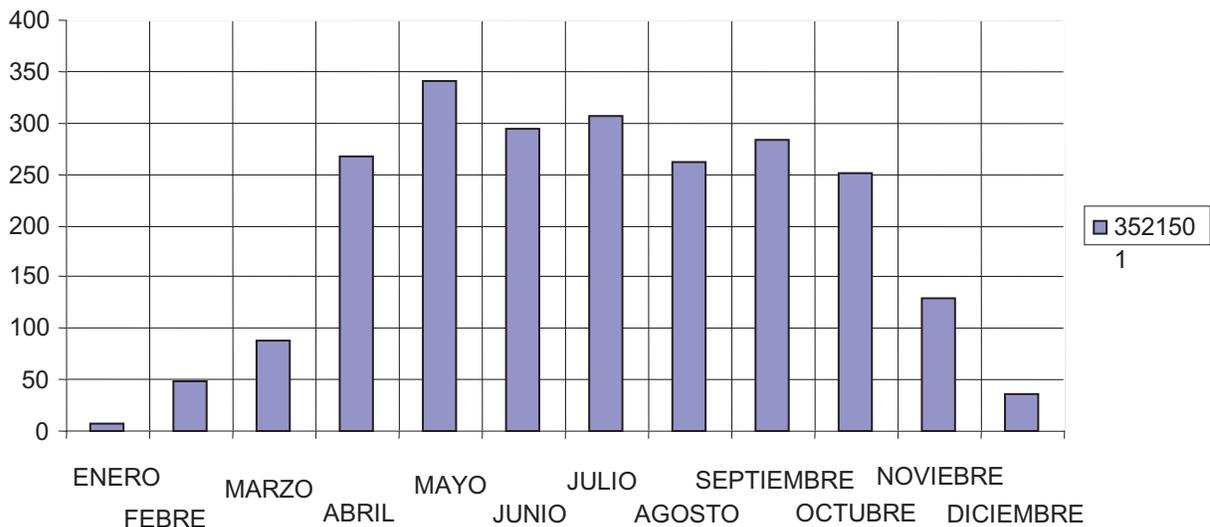
Es posible observar en la figura 19 que el test cumple con las premisas de los métodos usados debido a que la tendencia de la serie de tiempo disminuye monotónicamente.

Los dos métodos utilizados tienen un alto nivel de importancia teniendo en cuenta que el ángulo entre las líneas de confianza es pequeño. Los programas usados para el cálculo de tendencias producen resultados muy parecidos en lo referente a las series históricas que presentan tendencias. Algunos

resultados encontrados en estaciones no mostraban series de tiempo con tendencia debido a que presentaban series de tiempo demasiado cortas por esta razón no reflejan un comportamiento real de la zona.

Vale la pena resaltar que las estaciones de caudal que presentaron tendencias positivas en sus análisis mensuales son por lo general producidas en los meses de mayo, junio y julio; meses con precipitaciones máximas (Figura 20).

**Ciclo anual de precipitación estación AptoYopal**

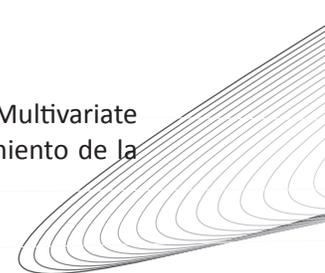


**Figura 20.**  
*CICLO DE PRECIPITACIONES APTO YOPAL.*

Finalmente, de las estaciones de precipitación analizadas sólo el 31% de las estaciones presentan tendencia significativa negativa y de las estaciones de caudal analizadas el 38% de las estaciones presentan tendencia significativa positiva.

**5.2.4 Análisis del impacto de los Fenómenos Macroclimáticos sobre la zona de estudio:**

De acuerdo a los resultados encontrados el Multivariate ENSO Index (MEI) no influye en el comportamiento de la



precipitación de esta región del país. Como puede observarse en la tabla 4, el hecho de que este fenómeno se presente no genera ningún tipo de cambio brusco en la media. En cuanto a las estaciones de caudal la presencia de este fenómeno genera algunas

tendencias en estaciones como Mombita, Puente Romera y Puente Yopal (ver tabla 5), esta última como se mencionó anteriormente presenta una tendencia positiva aún sin que este fenómeno se presente.

**Tabla 3.**

*INFLUENCIA DEL MEI SOBRE LA PRECIPITACIÓN.*

<b>TENDENCIA PRECIPITACIÓN TOTAL MENSUAL</b>				
CODIGO	ESTACIÓN	MANN-KENDALL		
		MEI - PMT		
		MK	p-value	Tendencia
3509001	Potrerito	1.60255629	0.05451633	
3509004	Reventonera	1.22292035	0.11067989	
3509006	Casadero	0.65310451	0.25684445	
3509007	Guamo Sisbaca	-0.79012741	0.21472668	
3509011	Don Antonio	0.18475628	0.4267101	
3509511	Huerta la Grande	-0.23951491	0.40535317	
3519002	Toquilla	0.09689921	0.46140322	
3519502	Tauramena	-1.61868804	0.0527572	
3521001	Morro El	0.73011194	0.23266088	
3521002	Yopal	-0.99046832	0.16097263	
3521004	Molinos	0.75814948	0.22418075	
3521005	Chaparrera La	-0.16458924	0.43463365	
3521501	Apto yopal	1.37163214	0.08508899	

**Tabla 4.**

*INFLUENCIA DEL MEI SOBRE EL CAUDAL.*

<b>TENDENCIA EN CAUDALES MEDIOS MENSUALES</b>				
CODIGO	ESTACIÓN	MANN-KENDALL		
		MEI - AMQ		
		MK	p-value	Tendencia
3509701	desaguadero	-0.59911345	0.27454862	
3509708	ceibal el	1.31388424	0.09444258	
3509709	reventonera la	1.47870095	0.06961013	
3509710	mombita pte romera	2.33159408	0.00986103	T
3510704	guaicaramo	1.50928059	0.06561355	
3519702	vado hondo	-1.82194461	0.0342317	
3519705	rancherías	0.15579042	0.43809911	
3519707	pte las canas	0.88011234	0.18939923	
3521701	puente yopal	2.63161182	0.00424904	T
3521702	estacion la	1.16958745	0.12108351	
3521703	puente la cabaña	-0.59367102	0.27636609	
3521704	pte carretera	0.292099	0.38510547	
3521706	playon el	-1.46114345	0.07198804	

## 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los resultados de estudios anteriores indican que hay evidencias que soportarían la hipótesis de que las variaciones en las cantidades de precipitación son originadas por los cambios climáticos que se han venido presentando en los últimos años.

Se observa que el comportamiento del clima en la zona de estudio es uniforme, la precipitación y el caudal presentan un comportamiento similar, mostrando ciclos anuales en estaciones localizadas en las cuencas pertenecientes a la zona en estudio.

Los análisis exploratorios dieron una buena información gráfica sobre el comportamiento general de la serie hidrológica que se analizó concordando con los resultados obtenidos en los análisis confirmatorios.

Analizando el comportamiento de las series históricas, es evidente que el caudal en algunos sectores está aumentando de manera importante, esto se observa principalmente en Yopal, Páez y en Sabana Larga, donde se concentran la mayor cantidad de estaciones con tendencias positivas importantes.

El comportamiento de la precipitación se encuentra sectorizado en zonas donde se tiende a la disminución y en otras que cobijan el aumento siendo estas últimas las que contenían la mayor cantidad de estaciones.

Para la zona en estudio, el fenómeno ENOS (El Niño-Oscilación del Sur) no genera una tendencia significativa en la precipitación, se observa que éste influye en mayor medida sobre el caudal incrementando la tendencia.

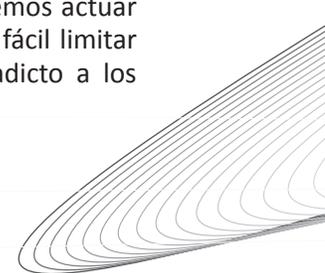
El análisis exploratorio debe siempre ser usado antes de cualquier análisis confirmatorio teniendo en cuenta que los diferentes gráficos resaltan diferentes propiedades de las series y se pueden considerar como complementarios a los resultados arrojados por los Test de tendencias.

Los análisis llevados a cabo a partir de la metodología planteada, resultarían más adecuados realizándolos con información real completa, para corroborar la veracidad en el comportamiento de cada una de las variables.

Es común en hidrología que cuando se identifican inconsistencias (tendencias) en las series hidrológicas, generalmente son removidas de la serie y el análisis se hace con la información resultante. Esto debe tratarse con sumo cuidado ya que la serie resultante sería totalmente artificial y claramente esto no es lo más apropiado. Cada serie es un caso distinto que debe analizarse para la toma de decisiones.

Es importante continuar con este tipo de investigaciones, analizando en detalle algunos aspectos y parámetros que no fueron tenidos en cuenta para este trabajo como: temperatura, velocidad del viento, evaporación, esto con el fin de establecer con más certeza el comportamiento del clima de la región y su relación con los diferentes fenómenos externos que pueden de una u otra forma modificarlo.

Como reflexión final y en general debemos tener en cuenta el aumento de las concentraciones de dióxido de carbono por actividades antropogénicas, el calentamiento de los océanos, el derretimiento de los glaciares, el aumento del nivel medio del mar, el adelgazamiento del hielo marino, se deshíela el permafrost, se presentan más incendios forestales devastadores, se encogen los lagos, colapsan las plataformas del hielo, percibimos un aumento repentino de la temperatura, las sequías son más prolongadas, el aumento de las precipitaciones por la falta de control generan cada vez más inundaciones, y deslizamientos, se secan los arroyos de montaña, son algunas de las marcas que está dejando el calentamiento en nuestro planeta y en el país, pero solo son una muestra de los estragos que podrían venir. Podemos actuar a tiempo para evitarlos, no será fácil limitar las emisiones para un mundo adicto a los combustibles fósiles.



## 7. REFERENCIAS

Appenzeller T, Dimick D. 2004. El Calentamiento Global. *Nacional Geographic*, 15 (3), 2.

Borrell, Elena. 2003. Cálculo Hidrometeorológico de Aportaciones y Crecidas (C.H.A.C.). Cedex, España.

Castañeda, Olga Lucía. 2005. Análisis de la Incidencia de los Fenómenos Climáticos en la Hidrología del Altiplano Cundiboyacense y la Región Árida del Alto Patía. Tesis (Magíster en Ingeniería Civil) Universidad de Los Andes.

Cortés, Andrés Fernando. 2005. Evaluación de la Capacidad del Agua Subterránea en la Ciudad de Tunja para Abastecimiento de Acueducto. Tesis (Magíster en Ingeniería Civil) Universidad de Los Andes.

Díaz-Granados O, Mario. Notas de Clase. Universidad de Los Andes. Facultad de Ingeniería. Maestría en Ingeniería Civil. Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental.

Estrela Monreal, Teodoro, Alvarez Rodríguez, Javier. 2003. Técnicas Estadísticas de Completado de Series Mensuales Hidrometeorológicas. Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX

Helsel, D.R. y Hirsch, R.M., 1992. *Statistical Methods in Water Resources*. Elsevier. Amsterdam, p. 522.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM.

Libiseller, Claudia y Grimvall Anders. 2001. Performance of Partial Mann-Kendall Tests for Trend Detection in the Presence of Covariates. Department of

Statistics, Linköping University, SE-58183 Linköping, Sweden.

Meyer, Paul. 1998. *Probabilidad y Aplicaciones Estadísticas*. Washington State University. México.

Montealegre, E. 1996. Análisis del comportamiento de la precipitación en Colombia durante la ocurrencia de los fenómenos ENOS.

Nieto Juan José, Martínez Rodney, Regalado Juan, Freddy Hernández. 2004. Análisis de tendencia de series de tiempo oceanográficas y meteorológicas para determinar evidencias de cambio climático en la costa del Ecuador. Instituto Oceanográfico de la Armada Guayaquil – Ecuador.

Portus Govinden, Lincoyán. 1989. *Estadística*. Universidad Javeriana.

Poveda Germán, Vélez Jaime, Mesa Oscar, Hoyos Carlos, Mejía Freddy, Barco Olga, Correa Paula L. 2004. Influencia de fenómenos macroclimáticos sobre el ciclo anual de la hidrología colombiana: cuantificación lineal, no lineal y percentiles probabilísticos. Universidad Nacional de Colombia.

Smith Ricardo A. y Campuzano Claudia. 2000. Análisis exploratorio para la detección de cambios y tendencias en series hidrológicas. Universidad Nacional de Colombia, Medellín.

Villate Corredor, José Julián. 2004. Influencia de los Fenómenos Macroclimáticos y Calentamiento Global en la Hidrología del Altiplano Cundiboyacense. Tesis (Magíster en Ingeniería Civil) Universidad de Los Andes.